

caniche effettuate nel loro interno. Perciò nella meccanica classica non esiste uno spazio privilegiato, o "assoluto": gli spazi di tutti i riferimenti inerziali sono "assoluti".

L'espressione matematica della indistinguibilità dei riferimenti inerziali sta nel fatto che una trasformazione di coordinate che faccia passare da un riferimento inerziale ad un altro, lascia invariate le equazioni del moto. Se la velocità relativa di due riferimenti inerziali è parallela alla comune direzione degli assi  $x$  e  $x'$  le coordinate  $x$   $y$   $z$ ,  $x'$   $y'$   $z'$  sono legate alle relazioni:

$$(1) \quad x' = x - vt, \quad y' = y, \quad z' = z .$$

Come si vede si è tacitamente assunto che il tempo sia "universale". Questo è conseguenza del fatto che le interazioni si propagano con velocità infinita (vedere n.4).

L'equivalenza dei riferimenti inerziali o, se si vuole, l'invarianza delle equazioni del moto, rispetto alle trasformazioni (1), prende il nome di "principio di relatività galileiana" (v. per es. [1] n°7).

## 2. DIFFICOLTA' DELLA FISICA CLASSICA.

Come si è accennato al n. 1 il principio di relatività galileiana è perfettamente soddisfacente nel campo della meccanica dei corpi macroscopici. Naturalmente soddisfacenti sono anche le sue premesse e cioè l'esistenza di un tempo unico per tutti gli osservatori (tempo assoluto) o, in modo equivalente, l'ipotesi di velocità infinita di propagazione delle interazioni. Si è pure detto che questo stato di cose è conseguenza del fatto che rispetto alla velocità di spostamento dei corpi macroscopici con i quali si ha a che fare nei moti ordinari, la velocità di propagazione delle interazioni è così grande che assumer-



la infinitamente grande non porta ad errori sperimentali rilevabili con gli strumenti che si usano, appunto, per le misure nel campo macroscopico.

In passato si tentava di riportare tutti i fenomeni fisici a fenomeni meccanici e poiché nell'ambito della meccanica tutte le ipotesi accennate sono in accordo con l'esperienza, sembrava che la relatività galileiana potesse essere accettata come un fatto fondamentale e incrollabile da porsi alla base di tutti i fenomeni fisici.

Nella seconda metà del secolo scorso, però, si comprese appieno che i fenomeni fisici non possono essere ridotti tutti a fatti meccanici, ma è necessario formulare a parte teorie termodinamiche ed elettrodinamiche e, in più, che ogni fenomeno non ha un solo aspetto (per es. solo meccanico o solo elettrodinamico ecc.), ma è invece un complesso di fatti meccanici, elettrodinamici, termodinamici. Da ciò segue che modifiche nei principi base di una di queste discipline debbono coinvolgere modifiche anche per le altre discipline.

Poiché nell'ambito della meccanica la relatività galileiana è soddisfacente, è evidente che la teoria della relatività (TR) non è sorta in conseguenza di difficoltà presentatesi nello sviluppo della meccanica stessa. Al contrario la TR è sorta in conseguenza degli sforzi fatti nel tentativo di superare alcune difficoltà presentatesi nello sviluppo della elettrodinamica: infatti la TR è una teoria moderna della elettrodinamica.

Di conseguenza per comprendere le motivazioni della nascita della TR è indispensabile conoscere l'elettrodinamica nella sua evoluzione dalle sue origini classiche fino agli sviluppi che portarono alle difficoltà accennate. Tuttavia non è impossibile comprendere i fondamenti della relatività anche ignorando del tutto l'elettrodinamica.

Nel seguito, introdotti i postulati base e utilizzando nozioni assolutamente elementari si tenterà di illustrare le idee nuove che se-

guono dai postulati della TR.

L'elettrodinamica classica si compendia nelle quattro equazioni di Maxwell

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0$$

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

(la notazione è quella usuale).

Queste equazioni riassumono in forma estremamente sintetica ed elegante tutta l'elettrodinamica classica, così come essa appare rispetto al riferimento terrestre, sintesi di una miriade di esperienze tutte coerenti fra loro. Sarebbe difficile per un fisico rinunciare ad una teoria così affascinante ed elegante. Eppure le equazioni di Maxwell non sono invarianti per trasformazioni di Galileo. In altri termini se si passa da un riferimento inerziale ad un altro, le equazioni di Maxwell assumono una nuova forma.

E' necessario allora scegliere una delle seguenti possibilità:

1) Il principio di relatività sussiste in meccanica ma non in elettrodinamica: in elettrodinamica esiste un riferimento privilegiato.

Questa possibilità è però poco convincente perché come si è detto uno stesso fenomeno ha sempre aspetti meccanici ed elettrodinamici. Sarebbe strano per es. che due forze, una di origine meccanica, l'altra di origine elettrica, si trasformassero in modo diverso nel passaggio da un riferimento ad un altro. Sarebbe poi strano che il riferimento privilegiato fosse quello terrestre.

2) Esiste un principio di relatività valido tanto in meccanica quanto in elettrodinamica, ma la formulazione delle equazioni di Maxwell non è corretta. Questa seconda possibilità cozza con la validità delle equazioni di Maxwell nel riferimento terrestre. Al contrario vi sono esperienze che mostrano che le equazioni newtoniane non



sono sempre valide (esperienza di Fizeau, esperienze di Kaufmann).

3) Un principio di relatività è valido in meccanica e in elettrodinamica, le equazioni di Maxwell sono corrette, ma non è corretta la trasformazione di Galileo. Di conseguenza le leggi della meccanica newtoniana vanno modificate.

E' quest'ultima la posizione della TR. E' opportuno aggiungere che, fino alla fine del secolo scorso, si riteneva che per la trasmissione di onde di qualunque genere (in particolare di onde elettromagnetiche) fosse necessario un mezzo nel quale le onde si propagassero mediante deformazione del mezzo stesso. Anteriormente all'avvento della TR i fisici erano convinti che tutto lo spazio fosse pieno di una sostanza dotata di proprietà molto particolari detta "etere" (luminifero).

Il riferimento nel quale l'etere era in quiete era il riferimento assoluto. Entro certi limiti l'esistenza dell'etere è compatibile con le equazioni di Maxwell ed è addirittura possibile costruire una teoria coerente nella quale si possono calcolare deformazioni e sforzi causati nell'etere dalle onde elettromagnetiche (OEM) che si transitano ([2] 9.b).

Secondo le vedute moderne invece, la luce (OEM) non ha bisogno di alcun mezzo per propagarsi. Ora, mentre un riferimento solidale ad un mezzo può, almeno nei riguardi di certi fenomeni, essere un riferimento privilegiato, un riferimento nel vuoto non può essere distinto fisicamente da alcun altro riferimento, fisso o mobile, anch'esso nel vuoto. Questo è un altro motivo per il quale viene esteso il principio di relatività ai fenomeni elettrodinamici.

#### 4. SINCRONIZZAZIONE DEGLI OROLOGI MEDIANTE SEGNALI DI VELOCITA' FINITA.

Nella meccanica classica in virtù del carattere istantaneo della